

Espesura crítica y regeneración en un pinar natural de silvestre de elevada complejidad estructural (monte “Cabeza de Hierro”, Rascafría, Madrid)

RUBIO CUADRADO, A.; VIVAR SANZ, A.¹; SADORNIL ARENAS, E.¹; AROCA FERNÁNDEZ, M. J.²; SERRADA HIERRO, R.² y BRAVO FERNÁNDEZ, J.A.³

¹ Departamento de Ciencias Básicas Aplicadas a la Ingeniería Forestal. E.U.I.T. Forestal, Universidad Politécnica de Madrid.

² Departamento de Silvopascicultura. Grupo de Investigación de Ecología y Gestión Forestal Sostenible. E.U.I.T. Forestal, Universidad Politécnica de Madrid.

³ Departamento de Economía y Gestión Forestal. Grupo de Investigación de Ecología y Gestión Forestal Sostenible. E.U.I.T. Forestal, Universidad Politécnica de Madrid.

Resumen

El monte privado “Cabeza de Hierro” (Rascafría, Madrid), con 2.016,5 ha de superficie total y 1.886,4 ha de superficie arbolada, presenta una masa de pino silvestre de origen natural con abundante melojo, de elevado valor económico y ecológico, sobre la que se realizan aprovechamientos maderables desde hace al menos 150 años. La mayor parte del monte está incluido en la Zona Periférica de Protección del Parque Natural de la Cumbre, Circo y Lagunas de Peñalara. Ordenado desde 1957, se siguió primero el método de tramos permanentes, y después el de tramo móvil. Las cortas de regeneración aplicadas han sido de aclareo sucesivo. La gran variabilidad estacional, el intenso aprovechamiento pastoral y la competencia con melojo y matorral han generado una estructura de elevada complejidad, de modo que en general aparece un mosaico de bosquetes de tamaño variable, en cuyo interior la masa es regular o semirregular, generando una estructura irregular a escala de cantón. En este trabajo se estudia, mediante diversas técnicas de análisis multivariante y en especial mediante análisis discriminante, la relación entre la aparición de regeneración y diversos factores del medio y de la masa, con el objetivo principal de comprobar por debajo de qué espesura crítica es esperable la instalación de regeneración suficiente. La propuesta se realiza para diferentes situaciones presentes en el monte. Para ello se emplea la información recogida en el Estado Forestal de la Tercera Revisión del Proyecto de Ordenación (2007) para los cuarteles A y B, de 806,3 ha totales y 776,7 ha arboladas. Dicha información procede de un muestreo cuyas características se resumen a continuación: muestreo estratificado con afijación proporcional, parcelas circulares de radios concéntricos, distribución sistemática con lado de malla cuadrada de 160 m. Como resumen de los resultados se encuentra que: elevadas espesuras en pinar adulto no impiden la instalación del diseminado, aunque luego éste muere por falta de luz; la presencia abundante de otras especies (matorral, melojo o acebo) sí impide o dificulta la regeneración; como valor global aproximado, se propone un rango de valores de área basimétrica crítica total, suma de la de pinos mayores, melojos y acebos, de 16 a 30 m²/ha para permitir la regeneración suficiente de pino silvestre. El valor de espesura crítica se puede concretar para cada combinación de calidad de suelo, número de pies menores y fracción de cabida cubierta de especies acompañantes.

Palabras clave

Cortas de regeneración, área basimétrica, masa irregular por bosquetes, *Pinus sylvestris*.

1. Introducción

Sin ninguna duda, la obtención de regeneración en cantidad, viabilidad y distribución espacial adecuadas es un objetivo fundamental en la gestión de todo sistema forestal,

imprescindible para asegurar una distribución equilibrada de clases de edad, con lo que ello supone en relación con la consecución de los principios básicos de la ordenación de montes (MADRIGAL, 1944). Los factores y condicionantes que influyen en la regeneración natural han sido tratados de manera general en numerosos textos (DANIEL et al., 1982; HAWLEY & SMITH, 1982; SERRADA, 2003). Uno de ellos es, obviamente, la espesura de la masa preexistente. MONTERO et al (2008), en la revisión más reciente y completa sobre la selvicultura aplicada sobre pino silvestre en España, indican que, teniendo en cuenta dichos factores, los aclareos sucesivos en sus distintas modalidades son el tipo de corta de regeneración que generalmente se adapta mejor a la especie y, en consecuencia, el más empleado; aunque se refieren también al uso de cortas a hecho en uno o dos tiempos y cortas por entresaca. También existe cierta experiencia en la aplicación de las denominadas “cortas a la esperilla y a la espesilla”, asociadas al método selvícola de ordenación (ROJO y MONTERO, 1999; BRAVO y SERRADA, 2007). En general, para aclareo sucesivo sobre pino silvestre las recomendaciones sobre el peso de las cortas diseminatorias suelen expresarse como porcentaje de extracción frente a la espesura inicial (GONZÁLEZ VÁZQUEZ, 1948; HAWLEY & SMITH, 1982; LANIER, 1986), aunque ello exige asumir que la situación de partida es próxima a la espesura normal. SERRADA (2003) propone de modo general que tras las diseminatorias quede entre un 50% y un 30% de la fracción de cabida cubierta, cifras del mismo orden que las propuestas por GONZÁLEZ MOLINA (2006) para pinares de silvestre en Castilla y León.

Sin embargo, hasta fechas recientes los estudios sobre regeneración natural han sido muy escasos en nuestro país (ROJO y MONTERO, 1996), siendo también complicado aplicar en España los resultados obtenidos en otros países debido a la elevada variabilidad genética de la especie a lo largo de su distribución, la diversidad de estaciones que ocupa, y la inexistencia de estudios locales que permitan la comparación con otros países (GONZÁLEZ MARTÍNEZ y BRAVO, 1999). Así, y citando a MONTERO et al. (2008): “Una de las principales dificultades de la aplicación de los aclareos sucesivos es el desconocimiento de la espesura exacta hacia la que hay que conducir la masa en las diferentes fases del método para conseguir una adecuada regeneración”. Este planteamiento se puede extender a cualquier tipo de corta gradual (también cortas a hecho en dos tiempos), cortas por entresaca, o incluso en relación con el tamaño de las superficies donde se aplican cortas a hecho en un tiempo. Por otro lado, la dificultad en la gestión aumenta con la complejidad estructural de las masas y su heterogeneidad espacial, así como con la variabilidad estacional (diferencia de cotas, orientaciones, etc.). Por tanto, sería muy positivo disponer de datos en relación con espesura crítica, por debajo de la cual se consiga regeneración suficiente según tipo de corta y condiciones de estación y de masa, aun sabiendo que su generalización es difícil y peligrosa.

2. Objetivos

Para los cuarteles A y B del monte “Cabeza de Hierro” (Rascafría, Madrid), de considerable variabilidad estacional, que presentan una masa natural de pino silvestre de elevada complejidad estructural con forma principal muy cambiante en el espacio pero tendente a la irregularidad en el cantón, y con abundante presencia de melojo en las cotas más bajas, se pretende:

- a) Identificar las variables que más afectan a la aparición de regenerado de pino silvestre.
- b) Comprobar por debajo de qué valores aproximados de espesura crítica se consigue que se instale regenerado suficiente de pino silvestre para mantener la masa con una distribución equilibrada de clases de edad.

3. Metodología

3.1. Sitio de estudio

El monte está situado en la vertiente sur de la Sierra de Guadarrama, en la cabecera del Valle de Lozoya, y pertenece al término de Rascafría (Madrid). Los cuarteles A y B ocupan 806,3 ha, de las cuales 776,7 son arboladas, con cotas variables entre los 1.200 y los 1.860 m de altitud. Se trata de una zona con temperatura media anual superior a los 7 °C, precipitación anual alrededor de los 1.300 mm, y suelos silíceo-arcillosos, profundos y fértiles en los fondos de valle y tanto más escasos y pedregosos cuanto más se asciende sobre las laderas.

La vegetación actual tiene como formación principal un pinar de origen natural de pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.), que forma masa pura en la mayor parte de la superficie y actualmente es la única especie objeto de aprovechamiento. Asociado al pino aparece el melojo o rebollo (*Quercus pyrenaica* Willd.), especialmente en las zonas de menor altitud y generalmente formando parte del sotobosque. Se encuentran bosquetes y pies dispersos de otras especies arbóreas (*Ilex aquifolium*, *Betula alba*, etc.). En las zonas desarboladas, o con pinar de baja espesura, abundan retamas (*Genista florida*, *Genista cinerea*, *Sarothamnus scoparius*), piornos (*Cytisus oromediterraneus*), cambroños (*Adenocarpus hispanicus*), brezo (*Erica arborea*), helecho (*Pteridium aquilinum*), enebro (*Juniperus communis*) y especies del género *Rosa*. Aparecen diferentes tipos de pastos herbáceos: alpinoideos, cervunales, berciales, vallicares, incluso majadales y prados de diente.

La forma principal de masa es muy cambiante en el espacio. En general la masa es regular o semirregular por bosquetes, cambiando de edad los pies de unos bosquetes a otros. A veces es irregular pie a pie en dichos bosquetes. En otras ocasiones puede ser regular en superficies mayores al bosque, pero nunca en todo un cantón. Por lo tanto, y en general, se puede decir que la masa es irregular por bosquetes (tercer grado de irregularidad, Serrada, 2003).

El principal aprovechamiento del monte es la madera de pino silvestre, para sierra o chapa. Ha habido aprovechamientos madereros continuos desde la adquisición del monte por sus actuales propietarios en 1840, y muy probablemente desde antes. El primer Proyecto de Ordenación se presentó en 1957 (XIMÉNEZ DE EMBÚN, 1957), y se acaba de aprobar la Tercera Revisión (BRAVO y SERRADA, 2007). El ganado doméstico presente en el monte actualmente es mayoritariamente vacuno. El pastoreo es continuo entre el 15 de abril y el 15 de noviembre.

3.2. Origen y Análisis de los datos

Como parte imprescindible de la Tercera Revisión de la Ordenación del monte, en 2005 se procedió a realizar un muestreo sobre la superficie forestal arbolada, previamente definida sobre ortofotos recientes. Se hizo un muestreo estratificado, con afijación proporcional (malla cuadrada de 160 m de lado); con tres parcelas circulares concéntricas. En la menor, de radio igual a 5 m, se estudió la regeneración. Se localizaron y midieron 745 parcelas (304 de ellas en los cuarteles A y B). Para la estimación de la cantidad y estado del regenerado, se contó el número de individuos viables y no viables presentes en cada una de las siguientes categorías:

- para pino silvestre: con altura inferior a 30 cm; con altura entre 30 cm y 1,30 m; con altura superior a 1,30 m y diámetro normal inferior a 5 cm; con diámetro normal superior a 5 cm e inferior a 10 cm (hasta 10 cm de diámetro normal se considera “regeneración”).

- para melojo: con altura inferior a 30 cm; con altura entre 30 cm y 1,30 m (hasta 1,30 m de altura se considera “regeneración”).

Los datos obtenidos, particularmente los referentes a la regeneración del pino silvestre, constituyen el eje central del presente trabajo. Se emplea así mismo información derivada del inventario general del monte. En todos los análisis estadísticos que se han realizado las variables consideradas son: las que miden el estado del regenerado de pino silvestre (como variable dependiente); y las que cuantifican los factores que pueden afectar a la aparición, establecimiento y desarrollo de la regeneración (como variables independientes).

Las principales variables dependientes utilizadas son las siguientes:

- *Diseminado*: cuantifica el número de pies (tanto viables como no viables) de pino silvestre menores de 0,30 metros de altura por hectárea. Es continua.
- *NregPs*: cuantifica todo el regenerado de pino silvestre por hectárea (tanto viables como no viables). Es continua.
- *r*: cuantifica todo el regenerado de pino silvestre mayor de 0,30 metros de altura por hectárea (tanto viables como no viables). Es continua.
- *rViab*: cuantifica todo el regenerado de pino silvestre mayor de 0,30 metros de altura por hectárea. A partir de 1,30 metros de altura sólo se tienen en cuenta los pies viables. Por debajo de esa altura se tienen en cuenta tanto los viables como los no viables. Es continua.
- *RegCombinado*: variable dicotómica que valora el éxito en la regeneración del pino silvestre. Toma el valor 1 cuando se considera que el regenerado observado permite asumir el éxito en la regeneración y 0 cuando no es así.

No es sencillo ni trivial establecer criterios objetivos para la definición del éxito en la regeneración. El criterio que se sigue en el presente trabajo es puramente selvícola: se ha considerado por un lado la especie (pino silvestre) y la estación, y por el otro las curvas de distribución diamétrica del monte entresacado ideal para pino silvestre propuestas en la 3ª Revisión del Proyecto de Ordenación del monte “Cabeza de Hierro”, que para la clase diamétrica menor (10-15 centímetros de diámetro normal) especifica una densidad de entre 132,2 y 185,9 pies por hectárea según sea la calidad de estación de cada cantón (a mayor calidad, menor número de pies en las clases de edad inferiores) con unos factores de progresión geométrica desde 1,45 a 1,55 respectivamente (BRAVO y SERRADA, 2007), sabiendo que los tiempos de cambio de clase, y por tanto dichos factores, son menores para los diámetros normales menores a 10 centímetros. Además no se ha tenido en cuenta el regenerado menor de 0,30 metros de altura debido a que es frecuente encontrar en el monte situaciones con abundante diseminado bajo cubierta de fustal medio o viejo, diseminado que acaba muriendo por falta de luz. Del criterio anteriormente expuesto, se derivan las reglas de clasificación que se aplican en el presente trabajo y que se enumeran a continuación en la *Tabla 1*. El cumplimiento en una parcela de cualquiera de las cuatro condiciones que se indican, implica éxito en la regeneración (*RegCombinado* = 1). En caso contrario la regeneración no se considera conseguida (*RegCombinado* = 0).

Para el regenerado menor de 1,30 metros de altura no se ha distinguido entre viable y no viable porque, con esos tamaños y en el monte objeto de estudio, el ganado tiene una gran influencia sobre su viabilidad y por tanto los resultados se verían completamente deformados a causa del pastoreo. Sin embargo, a partir de ciertos tamaños (en este caso se ha considerado a partir de 1,30 metros de altura), la espesura es un factor que influye relativamente más que el ganado sobre su viabilidad.

Tabla 1: Densidad mínima exigida para que RegCombinado tome el valor 1 en una parcela de estudio en función de las características (altura y diámetro) del regenerado existente. El cumplimiento de cualquiera de las condiciones expuestas implica éxito en la regeneración. La ausencia de todas ellas implica fracaso.

	Características del regenerado		Densidad mínima exigida	Tipo de pies contabilizados
	Altura	Diámetro Normal		
1	0,3 – 1,3 m		>1000 pies/ha	Todos: tanto viables como no viables
2	> 1,3 m	< 5 cm	>500 pies /ha	Sólo viables
3		5 – 10 cm	> 250 pies/ha	Sólo viables
4	> 0,3 m	< 10 cm	> 1000 pies/ha	h>1,3 m sólo viables h<1,3 m contabilizan todos

Para el regenerado menor de 1,30 metros de altura no se ha distinguido entre viable y no viable porque, con esos tamaños y en el monte objeto de estudio, el ganado tiene una gran influencia sobre su viabilidad y por tanto los resultados se verían completamente deformados a causa del pastoreo. Sin embargo, a partir de ciertos tamaños (en este caso se ha considerado a partir de 1,30 metros de altura), la espesura es un factor que influye relativamente más que el ganado sobre su viabilidad.

Las principales variables independientes utilizadas son las siguientes:

- *CalidadEstación*: mide la calidad de la estación en valores ordinales de 1 (alta) a 3 (baja). Estas calidades están establecidas, en el primer Proyecto de Ordenación del monte “Cabeza de Hierro” (XIMÉNEZ DE EMBÚN, 1957), para cada cantón.
- *CalidadSuelo*: mide la calidad del suelo en valores ordinales de 1 (suelo muy productivo) a 4 (suelo muy poco productivo). Se ha obtenido a partir de las observaciones hechas en el apeo de cantones de la 2ª Revisión del Proyecto de Ordenación del monte “Cabeza de Hierro” (ROJO y MONTERO, 1999). Se ha transformado en variable ficticia para su empleo en el análisis discriminante, como se indica a continuación.
- *CalidadSuelo1*: variable ficticia que toma valor 1 cuando *CalidadSuelo* tiene ese mismo valor, y toma valor 0 en el resto de casos.
- *CalidadSuelo2*: variable ficticia que toma valor 1 cuando *CalidadSuelo* vale 2, y toma valor 0 en el resto de casos.
- *CalidadSuelo3*: variable ficticia que toma valor 1 cuando *CalidadSuelo* vale 3, y toma valor 0 en el resto de casos.
- *N_PsMen*: Densidad de pies menores (entre 10 y 20 centímetros de diámetro normal) por hectárea.
- *G_PsMay*: Área basimétrica (m^2/ha) de los pies mayores (más de 20 centímetros de diámetro normal).
- *G_PsUnitaria*: Área basimétrica unitaria media (m^2/pie) de los pies de más de 10 centímetros de diámetro normal.
- *V*: Volumen (m^3/ha) de los pies mayores (más de 20 centímetros de diámetro normal).
- *Hm*: Altura media (m) de los pies de más de 10 centímetros de diámetro normal.
- *FccSpAcomp*: Mide la fracción de cabida cubierta, en porcentaje, de las especies acompañantes: helecho y leñosas, a excepción de pino y melojo. Se calcula a partir de la suma de las fracciones de cabida cubierta (grado de recubrimiento medido en porcentaje) de cada una de las especies. Por lo tanto su valor máximo puede ser mayor de 100.
- *TotalG_May*: Es la suma de las áreas basimétricas (m^2/ha) de los pinos mayores, del melojo y del acebo, teniendo en cuenta aquellos pinos de más de 20 centímetros de diámetro normal y aquellos rebollos y acebos de más de 1,30 metros de altura.

Como primer paso en el estudio de la instalación de regeneración suficiente, se han realizado regresiones lineales simples entre las variables dependientes e independientes indicadas con objeto de explorar posibles relaciones. Como era de esperar, en general el coeficiente de determinación ha sido bastante bajo.

Para alcanzar el segundo objetivo señalado, además de contribuir a lograr el primero, se ha empleado el análisis discriminante. Sólo en este caso se ha utilizado como variable dependiente el regenerado con valores discretos (0/1) y como variables independientes, cuando éstas son categóricas, las correspondientes variables ficticias. Las variables independientes han sido incorporadas a la función discriminante de dos formas distintas: tanto mediante la estrategia de inclusión forzosa; como mediante la estrategia de inclusión por pasos, utilizando Lambda de Wilks como método de selección de variables, usando como criterio de entrada y salida un valor de F de 3,84 y 2,71 respectivamente; situando el punto de corte (para clasificar los casos) equidistante entre los centroides de los dos grupos que se forman; y usando la matriz de covarianzas intra-grupos. Para evitar la colinealidad, entre las variables que provocan bajadas sensibles de la tolerancia (la tolerancia es la proporción de varianza de una variable independiente que no está explicada por el resto de variables independientes) no se han introducido aquellas con un menor coeficiente estandarizado (y por tanto con menor importancia en el modelo).

Para ampliar información sobre cualquier aspecto de la Metodología, ver RUBIO, 2008.

4. Resultados

Se han encontrado relaciones esperables como que: a mayor fracción de cabida cubierta, densidad o área basimétrica de melojo, menor es el regenerado total encontrado; a mayor fracción de cabida cubierta de especies acompañantes (*FccSpAcomp*), menor es la cantidad de regenerado superior a 0,30 m (*r*); a peor calidad de estación (mayor *CalidadEstación*), menor es *Diseminado*; cuando hay pastoreo, menor es *r*; cuando hay sobrepastoreo, menor es la cantidad de regenerado total; a mayor área basimétrica o volumen de pinos mayores, menor *r* (RUBIO, 2008).

Por otro lado, también se han hallado relaciones que en ocasiones no son tan esperables. Entre ellas destacamos las siguientes (en todos los casos el nivel de significación del modelo y de los coeficientes es inferior a 0,05):

$$r = 1,827 \cdot N_PsMen + 509,013$$

$$Diseminado = 140,089 \cdot G_PsMay - 888,174$$

$$Diseminado = 21,115 \cdot V - 930,171$$

Mediante la realización de distintos análisis discriminantes previos a la obtención del definitivo se han hallado varias relaciones, también bastante esperables: a mayor densidad de pinos mayores, a peor calidad de estación o a mayor cantidad de pasto, más probabilidades hay de que *RegCombinado* tome valor 0 (RUBIO, 2008).

A partir del análisis discriminante, obtenido para proponer unos valores de espesura aproximados por debajo de los cuales es esperable que se consiga la aparición del regenerado

suficiente de *Pinus sylvestris* L. para mantener la masa de “Cabeza de Hierro” con una distribución equilibrada de clases de edad, se obtiene la siguiente función discriminante (coeficientes no estandarizados):

$$D = 1,707 \cdot \text{CalidadSuelo1} + 1,487 \cdot \text{CalidadSuelo2} + 1,282 \cdot \text{CalidadSuelo3} - 0,009 \cdot \text{FccSpAcomp} + 0,003 \cdot \text{N_PsMen} - 0,052 \cdot \text{TotalG_May} + 0,048$$

Con los coeficientes de las distintas variables discriminantes consideradas, y sabiendo la posición de los centroides (*Tabla 2*), se pone de manifiesto que:

- la probabilidad de éxito en la regeneración tiene una relación directa con la densidad de pies menores de pino silvestre y la calidad del suelo.
- por el contrario la relación es inversa con las variables que definen la espesura (área basimétrica de los pies mayores y fracción de cabida cubierta de especies acompañantes y leñosas).

La función discriminante estimada permite calcular la puntuación discriminante de las parcelas y en función de ésta establecer el grupo de pertenencia en cada caso. El valor límite de corte entre las categorías de la variable dependiente se establece en el punto medio entre los centroides de dichas categorías (1 = éxito en la regeneración, 0 = fracaso en la regeneración). Dado que el grupo objetivo en este caso es el de “éxito en la regeneración”, se desplaza la frontera entre grupos un 10% de la distancia total entre centroides reduciendo el espacio del grupo de los regenerados, para aumentar el nivel exigido a una parcela para ser considerada regenerada y estar así del lado de la seguridad (*Figura 1*). La puntuación discriminante de los centroides así como los valores inicial y final de corte, son los que se indican en la *Tabla 2*.

Tabla 2: Valores alcanzados por los centroides, el valor límite inicial y el valor límite final, una vez considerado el margen de seguridad.

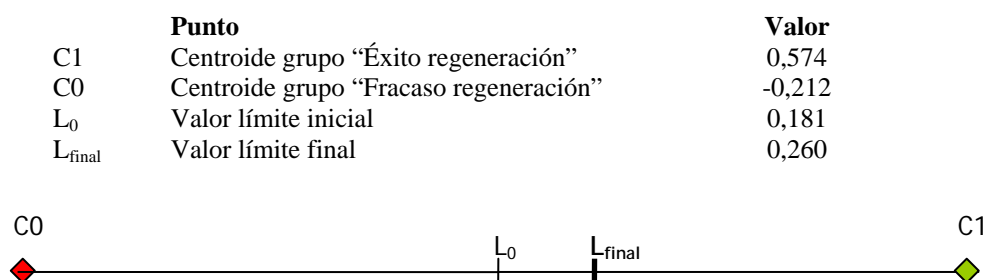


Figura 1: Esquema de la ubicación de los centroides con respecto a los puntos límite inicial y final en el espacio unidimensional definido por la función discriminante.

Teniendo en cuenta la función discriminante de coeficientes no estandarizados así como el valor límite fijado, será considerada regenerada con éxito toda parcela en la que se cumpla que:

$$1,707 \cdot \text{CalidadSuelo1} + 1,487 \cdot \text{CalidadSuelo2} + 1,282 \cdot \text{CalidadSuelo3} - 0,009 \cdot \text{FccSpAcomp} + 0,003 \cdot \text{N_PsMen} - 0,052 \cdot \text{TotalG_May} + 0,048 > 0,260$$

Despejando:

$$1,707 \cdot \text{CalidadSuelo1} + 1,487 \cdot \text{CalidadSuelo2} + 1,282 \cdot \text{CalidadSuelo3} - 0,009 \cdot \text{FccSpAcomp} + 0,003 \cdot N_PsMen - 0,212 > 0,052 \cdot \text{TotalG_May}$$

Para ampliar información ver RUBIO, 2008.

5. Discusión

A mayor espesura, es de esperar que aparezca una menor cantidad de regenerado de más de 0,30 metros de altura (MONTES, 2004), excepto en lo que se refiere a los pinos menores, en cuyo caso, a mayor presencia de éstos, la variable r o $rViab$ será también mayor. Esta última relación no es causal sino que seguramente se deba a que en los bosquetes de pinos jóvenes aparecen pies, entremezclados, tanto de latizal bajo (que se considera regenerado) como alto y, por lo tanto, cuando en una zona del monte se encuentra mucha cantidad de los primeros también estarán presentes los segundos. Digamos que se trata de regeneración incorporada, formada por latizal cuyo diámetro normal se sitúa en el entorno de los 10 cm.

Por otro lado se observa en las funciones anteriores que a mayor tamaño y cantidad de pinos, aparece una mayor cantidad de diseminado (regenerado menor de 0,30 metros). En efecto, es habitual observar en el monte que con elevadas espesuras de pino, en lugares donde la masa tiende a ser regular y monoespecífica, en fustal medio o viejo, con copas elevadas, y sin apenas especies acompañantes, aparece abundante diseminado que en poco tiempo morirá debido a dicha espesura. Siguiendo a SERRADA (2003): “en cualquier masa que no esté sometida a cortas de regeneración se puede observar o suponer que hay una diseminación más o menos abundante o continua, que nacen los brinzales, pero no hay viabilidad para ellos. Es la espesura, entendida en sentido genérico, la que impide su crecimiento o provoca su muerte.”

La relación entre la calidad de estación y del suelo con la cantidad de regenerado superior a los 0,30 metros de altura tiene una justificación lógica ya que, cuanto mejores son las condiciones en las que vegeta la masa, mayor es la espesura en que pueden desarrollarse tanto ella como el regenerado (PARDOS et al, 2005).

En lo que respecta al análisis discriminante: entre todas las variables discriminantes consideradas, el área basimétrica total de pies mayores (*TotalG_May*) es la más interesante desde el punto de vista de la gestión forestal orientada a la regeneración. Los tratamientos selvícolas de regeneración se fundamentan en el manejo de la espesura de la masa y esto se traduce de forma esencial en controlar y modificar la mencionada variable. Por lo tanto, desde un punto de vista aplicado, lo que nos interesa es conocer los valores de área basimétrica de pies mayores que aseguran regeneración en función del resto de variables consideradas. Para ello es necesario conocer los escenarios de interés que se pueden encontrar en el monte, los cuales se definen a partir de las 82 parcelas del inventario de los cuarteles A y B en las cuales *RegCombinado* toma el valor 1. Con el fin de obtener valores reales de referencia en las variables discriminantes cuantitativas (densidad de pies menores de pino silvestre y fracción de cabida cubierta de las especies acompañantes) se ordenan las parcelas de menor a mayor en función de cada variable y se agrupan en cuatro grupos en función de su posición: [1-20] [21-41] [42-62] [63-82]. Los valores mínimos, medios y máximos de cada grupo en cada una de las dos variables consideradas son los que se muestran en la *Tabla 3*.

Tabla 3. Valores mínimos, medios y máximos de N_PsMen y $FccSpAcomp$ para cada uno de los grupos en los que se han dividido los 82 valores, de las parcelas en las que $RegCombinado$ toma el valor 1, ordenando dichos valores, para cada variable, de menor a mayor. N_PsMen es la densidad de pies menores de pino silvestre, en pies por hectárea. $FccSpAcomp$ es la fracción de cabida cubierta de las especies acompañantes, medida en porcentaje.

		N_PsMen (pies/ha)	$FccSpAcomp$ (%)
Grupo 1 (datos del 1 al 20)	Valor mínimo	0,0	0
	Valor medio	43,2	9
	Valor máximo	99,1	20
Grupo 2 (datos del 21 al 41)	Valor mínimo	99,2	21
	Valor medio	163,7	37
	Valor máximo	212,1	50
Grupo 3 (datos del 42 al 62)	Valor mínimo	212,2	51
	Valor medio	266,8	66
	Valor máximo	339,6	81
Grupo 4 (datos del 63 al 82)	Valor mínimo	353,7	81
	Valor medio	544,7	100
	Valor máximo	962,0	145

Entre todos los valores señalados anteriormente se seleccionan las combinaciones de mayor interés selvícola de cara a la regeneración. Ya se indicó anteriormente, dadas las características y dinámica de la masa estudiada, que valores elevados de N_PsMen aparecen asociados a valores altos de regenerado ya instalado de mayor tamaño, por lo que en general no sería necesario seguir reduciendo espesura para conseguir regeneración suficiente de pino silvestre. Se descartan por tanto escenarios con valores elevados de la densidad de pinos menores (Grupo 4, es decir valores superiores a 339,6 pinos menores/ha). Asimismo, es bien conocido que una excesiva presencia de matorral es en sí mismo una limitación a la regeneración (MORILLO, 1987, RUBIO 1987, SANTOS 1987; PARDOS et al, 2007), por lo que el área basimétrica de los pies mayores deja de ser la clave en el éxito en la regeneración porque se requiere una reducción previa de la competencia de las especies acompañantes. No se evaluarán por tanto escenarios en los que se supere el 50% de fracción de cabida cubierta de las especies acompañantes.

Por lo tanto, los valores críticos o máximos del área basimétrica total de pinos mayores, melojos y acebos ($TotalG_May$ crítico) para que $RegCombinado$ tome el valor 1, en función de N_PsMen , de $FccSpAcomp$ y de $CalidadSuelo1$, $CalidadSuelo2$ y $CalidadSuelo3$, son los que aparecen en la Tabla 4. De todos estos valores, los más interesantes para orientar en la gestión son aquellos en los que N_PsMen tiene el valor más bajo (42,3), ya que será el correspondiente a masas maduras en las que no se haya empezado a abrir la masa para conseguir el regenerado y por ello no hay pies menores instalados.

Aparentemente hay bastante sobreestimación en algunos casos, llegando $TotalG_May$ crítico a sobrepasar los 40 m²/ha, aunque hay que tener en cuenta que los valores mínimos y máximos reales de $TotalG_May$, es decir, medidos durante la realización del inventario del monte, cuando $RegCombinado$ toma el valor 1, van desde 0,1 hasta 47,4 m²/ha. Estos posibles problemas de sobreestimación que se tienen en el proceso de obtención de unos valores máximos de área basimétrica para orientar la gestión de la masa de “Cabeza de Hierro”, se pueden deber principalmente a la enorme heterogeneidad de situaciones encontradas en este monte.

Tabla 4. Área basimétrica máxima total de pinos mayores, melojos y acebos (TotalG_May crítico) para la instalación de regenerado suficiente. *N_PsMen* es la densidad de pies menores de pino silvestre, en pies por hectárea. *FccSpAcomp* es la fracción de cabida cubierta de las especies acompañantes, medida en porcentaje. *CalidadSuelo1*, *CalidadSuelo2* y *CalidadSuelo3* son las variables ficticias obtenidas de *CalidadSuelo* cuando esta toma valor 1, 2 o 3 respectivamente (*CalidadSuelo1* toma valor 1 cuando *CalidadSuelo* toma ese mismo valor, *CalidadSuelo2* toma valor 1 cuando *CalidadSuelo* vale 2, etcétera). A su vez *CalidadSuelo* es la calidad del suelo en valores ordinales de 1 (suelo más productivo) a 4 (suelo menos productivo). TotalG_May crítico es el área basimétrica total de pinos mayores, melojos y acebos, máxima, con el que previsiblemente se instalará el suficiente regenerado.

<i>N_PsMen</i> (pies/ha)	<i>FccSpAcomp</i> (%)	<i>CalidadSuelo1</i>	<i>CalidadSuelo2</i>	<i>CalidadSuelo3</i>	<i>TotalG_May</i> crítico (m ² /ha)
43,2	9	0	0	0	0,0 ¹
		1	0	0	29,7
		0	1	0	25,5
		0	0	1	21,5
	37	0	0	0	0,0 ¹
		1	0	0	24,9
		0	1	0	20,6
		0	0	1	16,7
163,7	9	0	0	0	3,8
		1	0	0	36,7
		0	1	0	32,4
		0	0	1	28,5
	37	0	0	0	0,0 ¹
		1	0	0	31,8
		0	1	0	27,6
		0	0	1	23,6
266,8	9	0	0	0	9,8
		1	0	0	42,6
		0	1	0	38,4
		0	0	1	34,4
	37	0	0	0	4,9
		1	0	0	37,8
		0	1	0	33,5
		0	0	1	29,6

¹El dato que resulta del modelo es negativo por lo que se ha cambiado a 0,0.

Por otro lado, también hay aparentemente problemas de subestimación en los suelos menos productivos. Esto posiblemente se deba a la relativamente escasa cantidad de parcelas en las que *CalidadSuelo* toma valores 4 y *RegCombinado* es 1, perdiendo el modelo representatividad en esos casos.

A modo de resumen, se propone un rango de área basimétrica crítica total (suma de pinos mayores, melojos y acebos, y límite superior para conseguir la instalación de regeneración suficiente), obtenida de la media de los valores cuando *N_PsMen* presenta el valor más bajo (es decir, cuando la masa se encuentre en una situación de madurez, sin apenas regenerado ni pies jóvenes), de entre 16 y 30 m²/ha. Esta cantidad sería inferior para los suelos peores. Se trata tan sólo de un rango de valores medios aproximados, que habrá que matizar en función del valor que tomen los diferentes factores (Tabla 4). En cualquier caso, es una cifra superior a la indicada por MARTÍNEZ DE PISÓN (1948) para el pinar de Navafría: dice este autor que la regeneración sólo es posible con área basimétrica inferior a 12-15 m²/ha.

Para ampliar información ver RUBIO, 2008.

6. Conclusiones

A partir de todos los modelos estadísticos utilizados en el presente estudio, se ha observado que hay una serie de variables que casi siempre dan una buena relación y mejoran los análisis. A modo de resumen, para predecir la instalación de regeneración suficiente de pino silvestre las variables más interesantes son: densidad de pinos menores; área basimétrica conjunta de pino, melojo y acebo; fracción de cabida cubierta de especies acompañantes; y calidad de suelo, como expresión de la calidad de estación.

La espesura de la masa adulta de pino silvestre perjudica la aparición de regenerado mayor de 0,30 metros de altura, pero no afecta a la instalación del diseminado (que posteriormente morirá por falta de luz). Sin embargo la presencia de melojo o de abundante regenerado coacciona en gran medida el nacimiento y desarrollo de nuevos brinzales de pino.

La buena calidad de estación beneficia la instalación del regenerado. Igualmente, cuanto mejor es la calidad del suelo, mayor es la cantidad de regenerado superior a los 0,30 metros de altura.

Como rango de valores, se propone un área basimétrica crítica total, suma de la de los pinos mayores, los melojos y los acebos, límite superior para conseguir la instalación de regenerado suficiente de pino silvestre y obtenida de la media de los valores cuando la masa se encuentre en una situación de madurez, de 16 a 30 m²/ha. Dicha espesura crítica se puede concretar para cada combinación de calidad de suelo, número de pies menores y fracción de cabida cubierta de especies acompañantes de acuerdo con la función discriminante obtenida, o según se indica en la Tabla 4 para cada combinación de valores medios.

7. Bibliografía

BRAVO FERNÁNDEZ, J.A.; SERRADA HIERRO, R.; 2007. Tercera Revisión de la Ordenación del monte “Cabeza de Hierro” (Rascafría, Madrid). Documento sin publicar.

DANIEL, P.W.; HELMS, U.E.; BAKER, F.S. 1982. Principios de Silvicultura. McGraw Hill. México.

GONZÁLEZ VÁZQUEZ, E. 1948. Silvicultura. Libro Segundo: estudio cultural de las masas forestales y los métodos de regeneración. Residencia de Profesores. Ciudad Universitaria. Madrid.

GONZÁLEZ MOLINA, J.M. 2006. Manual de gestión de los hábitats de pino silvestre en Castilla y León. Junta de Castilla y León.

GONZÁLEZ MARTÍNEZ, S.C.; BRAVO, F. 1999. Regeneración natural, establecimiento y primer desarrollo del pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.). *Invest. Agrar: Sist. Recur. For* 8 (3), 225-247.

HAWLEY, R.C.; SMITH, D.M. 1982. Silvicultura práctica. Ediciones Omega S.A. Barcelona.

LANIER, L. 1986. *Precis de Sylviculture*. ENGREF. Nancy.

MADRIGAL, A.; 1994. Ordenación de montes arbolados. Ed. ICONA. Colección Técnica. Madrid. 375 pp.

MARTÍNEZ DE PISÓN, M. 1948. Defensa del método denominado “ordenar transformando”. Escuela Especial de Ingenieros de Montes. Madrid.

MONTERO, G.; DEL RÍO, M.; ROIG, S.; ROJO, A.; 2008. Selvicultura de *Pinus sylvestris* L., in SERRADA, R.; MONTERO, M. y REQUE, J. (editores): Compendio de Selvicultura Aplicada en España. INIA y FUCOVASA. Madrid.

MONTES PITA, F. 2004. Estudio de la relación entre la selvicultura y la diversidad estructural en los montes Pinar de Valsaín y Pinar de Navafría. Tesis Doctoral. Departamento de Silvopascicultura. Universidad Politécnica de Madrid.

MORILLO, J.M. 1987. Estudio de las causas que limitan la regeneración natural de *Pinus sylvestris* L. en el cuartel D del monte Cabeza de Hierro. Trabajo Fin de Carrera. E.U.I.T. Forestal. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.

PARDOS, M.; RUIZ DEL CASTILLO, J.; CAÑELLAS, I.; MONTERO, G.; 2005. Ecophysiology of natural regeneration of forest stands in Spain. *Invest. Agrar: Sist. Recur. For* 14(3), 434-445.

PARDOS, M.; MONTES, F.; ARANDA, I.; CAÑELLAS, I.; 2007. Influence of environmental conditions on germinant survival and diversity of Scots pine (*Pinus sylvestris*) in central Spain. *Eur. J. Forest Res.* 126: 37-47.

ROJO ALBORECA, A.; MONTERO GONZÁLEZ, G. 1996. El pino silvestre en la Sierra de Guadarrama. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Secretaría General Técnica. Madrid.

ROJO ALBORECA, A.; MONTERO GONZÁLEZ, G.; 1999. Segunda revisión del proyecto de ordenación del monte “Cabeza de Hierro” (Rascafría, Madrid). Documento sin publicar.

RUBIO, L.V. 1987. Estudio de las causas que limitan la regeneración natural de *Pinus sylvestris* L. en el cuartel B del monte Cabeza de Hierro. Trabajo Fin de Carrera. E.U.I.T. Forestal. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.

RUBIO, A.; 2008. Inventario y estudio de la regeneración de *Pinus sylvestris* L. en los cuarteles A y B del monte “Cabeza de Hierro” (Rascafría, Madrid). Trabajo Fin de Carrera. E.U.I.T. Forestal. 431 pp. Madrid.

SERRADA, R.; 2003. Apuntes de Selvicultura. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal. 489 pp. Madrid.

SANTOS, M. 1987. Estudio de las causas que limitan la regeneración natural de *Pinus sylvestris* L. en el cuartel E del monte Cabeza de Hierro. Trabajo Fin de Carrera. E.U.I.T. Forestal. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.

XIMÉNEZ DE EMBÚN, J.; 1957. Proyecto de Ordenación del monte “Cabeza de Hierro” (Rascafría, Madrid). Documento sin publicar.